

## パラメトリックスピーカの作成とその性能評価

システム科学技術学部 情報工学科

1 年 中神 悠太

1 年 石神 光樹

1 年 八角 隆斗

指導教員 システム科学技術学部 情報工学科

助教 安倍 幸治

### 1. 研究背景及び目的

今回自主研究で本研究テーマに参加することになったときは、我々は誰もパラメトリックスピーカについて知らなかった。しかし、本年度の自主研究の募集を見て本テーマを知り、この機会を通じて大学の授業だけでは学ぶことのできない知識を得てみようと考えた。本研究では、パラメトリックスピーカの作成とその性能評価のための実験を行うことで、これからの授業や研究に役立つ知見を得ることを目的とする。

### 2. パラメトリックスピーカについて

ダイナミック型スピーカと呼ばれる従来のスピーカはエンクロージャに取り付けられることによって、前方向に対して音を出すと音の波はスピーカを中心に半円状に広がっていく。従ってスピーカの前面 180 度圏内の人々にはよく聞こえ、後方 180 度圏内の人々には前面ほどよく聞こえないことになる。

パラメトリックスピーカは従来のスピーカとは違い、超音波スピーカを平面に複数個並べて作成されたものである。超音波スピーカは超音波を発振するものであるため、本来は人間の耳では聴こえない。しかし、パラメトリックスピーカでは、一定の周波数を持つ超音波と FM 変調をかけた超音波を同時に発生させることで、超音波の交差する空間で可聴音を生じさせる。超音波スピーカとそれを複数並べたアレイ構造のため、パラメトリックスピーカは強い指向性を持ち、パラメトリックスピーカの正面方向にいる人にしか音が聞こえないと言われている。この技術は国立科学博物館をはじめとする博物館や美術館での展示品の音声による説明に用いられている[1]。

### 3. パラメトリックスピーカの制作

今回、パラメトリックスピーカの制作にあたり、トライステート社の制作キットを採用した。基本的には、制作キットの説明に従い、基盤に部品を取り付けるための半田付けを行った。普段あまり触らない工作機材などでスピーカの制作を行うことは、最初は不慣れな部分もあったが徐々に慣れていくことができた。図 1 は半田付けの作業の様子であり、図 2 が完成した基盤である。

### 4. 実験目的

本節では、作成したパラメトリックスピーカの性能を確認するために行う、周波数特性および指向性を測定について説明する。周波数特性を測定するための実験を実験 1、指向性を測定する実験を実験 2 とする。



図2 完成した基盤



図3 無音室内での実験の様子

オーディオ用のスピーカは、人間の可聴範囲をフラットにカバーすることを目的とし、20 Hz~20 kHz なるべく平坦に出力することを目指して作られている。しかし、パラメトリックスピーカは、超音波を搬送波とし可聴音を発生させるものであるため、通常のスピーカとは発生する周波数の特性も異なってくるのではないかと考えた。実験1はノイズや反射の影響を排除するために無響室内で行う。

実験2ではパラメトリックスピーカの指向性を測定する。パラメトリックスピーカは前方への指向性が強いとされているが、その指向性がどの程度強いのかを調べるためにある程度広い空間である体育館で測定を行うこととした。

## 5. 実験方法

実験1における無響室内の測定機材の配置を図3に示す。使用したマイクは測定用コンデンサマイク(BEHRINGER/ECM800)である。配置したパラメトリックスピーカにオーディオインターフェイス(TASCAM 20×20)を接続した測定用のP CからTSP信号[2]を送り込み、音信号を発生させる。それを受け取ったマイクで拾ったTSP応答に、逆TSP信号を畳み込むことで伝達系のインパルス応答を得た。信号の入力に対して線形性が保たれるのかを確認するために、TSP信号の音量を一回目の音量を基準として小さくしたものを二回目、大きくしたものを三回目とする。

実験2では、パラメトリックスピーカから発生させた音の音量を、放射特性が左右対称であると仮定し、スピーカ正面右側において2メートル間隔のグリッドの格子点位置で騒音計を用いて測定した。測定範囲は、正面奥行き方向が36メートル、右方向奥行きが12メートルである。音の大きさは、体育館の入り口に設置したパラメトリックスピーカからホワイトノイズを発生させ、各位置で5秒間の等価騒音レベルを測定することで得た。なお、背景雑音の影響を考慮するために、パラメトリックスピーカからの音を放射していない状態での体育館内の音の大きさも測定する。

## 6. 実験結果及び考察

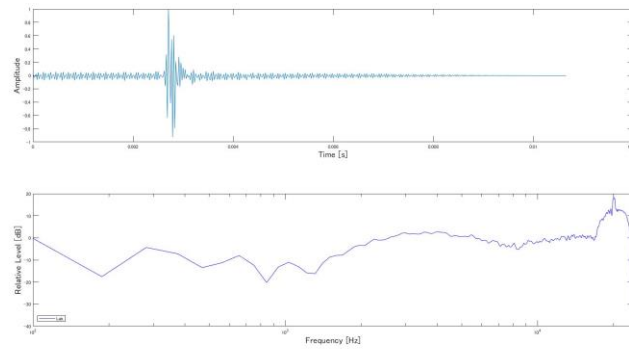
まず実験1から得られたパラメトリックスピーカのインパルス応答及び周波数特性を図4に示す。図4の各パネルの上段がインパルス応答で横軸が時間、縦軸が振幅となっている。下段は周波数振幅応答で、横軸が周波数、縦軸が相対レベルとなっている。図4の周波数特性のグラフより、どのグラフも同じような周波数特性のグラフの形となっていることから、ある程度の線形性を持ったスピーカとなっていることが分

かる。また、周波数特性を見ると、右肩上がりの指向性を示していることがわかる。つまり、音の周波数が大きくなるほど音が大きくなっている。図4より、目測で約18 kHzまでは0 dB 付近の値になっているが、それ以上の周波数では、音量は急激に上昇し20 kHzでピークになり、それ以上は減少している。このことからこのパラメトリックスピーカは高い音ほど出しやすい傾向があることがわかる。パラメトリックスピーカ制作キットの仕様書には周波数特性は400 Hz～5 kHzとされているが、この実験結果のグラフからは2 kHz～18 kHzの周波数が得意なスピーカとなっている。

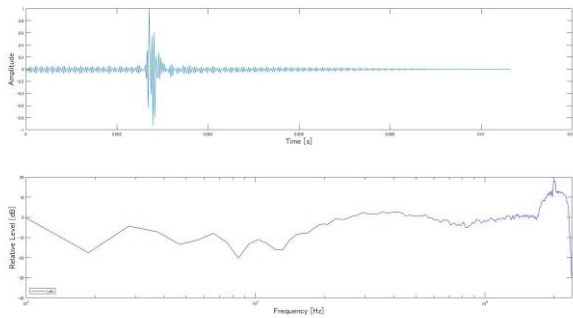
実験2の測定結果をもとに作成した放射特性のグラフを図5に示す。図5の平面は測定を実施した体育館の寸法を示しており、縦軸は測定した等価騒音レベルを示している。なお、音量が最も高くなっている位置がパラメトリックスピーカの設置位置であり、平面座標の原点となっている。図5より、36 mの奥行方向に対してスピーカ正面方向の騒音レベルが大きくなっていることが分かる。このことは、パラメトリックスピーカの指向性は前方に強くなっていることを示している。また、正面方向であっても、スピーカから離れるにつれて徐々に音量が低下しているのがわかる。しかし、スピーカからある程度離れた場合、音量がだんだんと一定の値にとどまっているのを見て取れる。これは実験を体育館で行ったため、体育館の壁で反射した音を騒音計が拾うことで音量が一定となってしまっていると考えられる。なお、スピーカからノイズを発しない場合、体育館全体の平均等価騒音レベルは24.9 dBであった。図5からパラメトリックスピーカから音を放射した場合、最低でも40 dB程度の騒音レベルが観測されることから、正面方向以外でも音が届いていることが明らかである。これは指向性のアナウンスなどの応用を考えた場合、問題になると言え、想定していたより指向性がないという結果となった。

## 7. まとめ

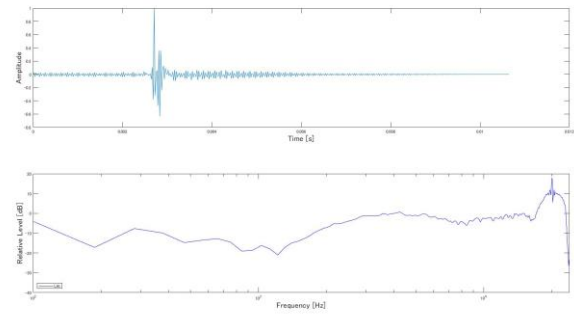
パラメトリックスピーカの制作と評価実験を実施した。今回作成したパラメトリックスピーカの周波数特性は通常のスピーカと異なり、高音が比較的に出やすいことが確認できた。原因は不明であるが、仕様書の結果ともやや異なる結果となった。一方、指向性の測定実験の結果、強い指向性があることが確認された。しかし、思ったよりも、サイド方向で音が聞こえていて、音の漏れが大きいと感じられる結果となった。研究の遂行にあたり、パラメトリックスピーカの制作やデータの考察など、不慣れなことも多く、色々と難航することが多かった。しかしスピーカについての知識を始め、実験の手順やレポート作成のコツなど多くのことを学ぶことが出来た。失敗や出来なかったことなども次に繋がる大きな経験となったと感じられる。



(a) 基準とした音量での測定結果



(b) 基準より小さい音量での測定結果



(c) 基準より大きい音量での測定結果

図4 実験1で得たパラメトリックスピーカのインパルス応答と周波数特性

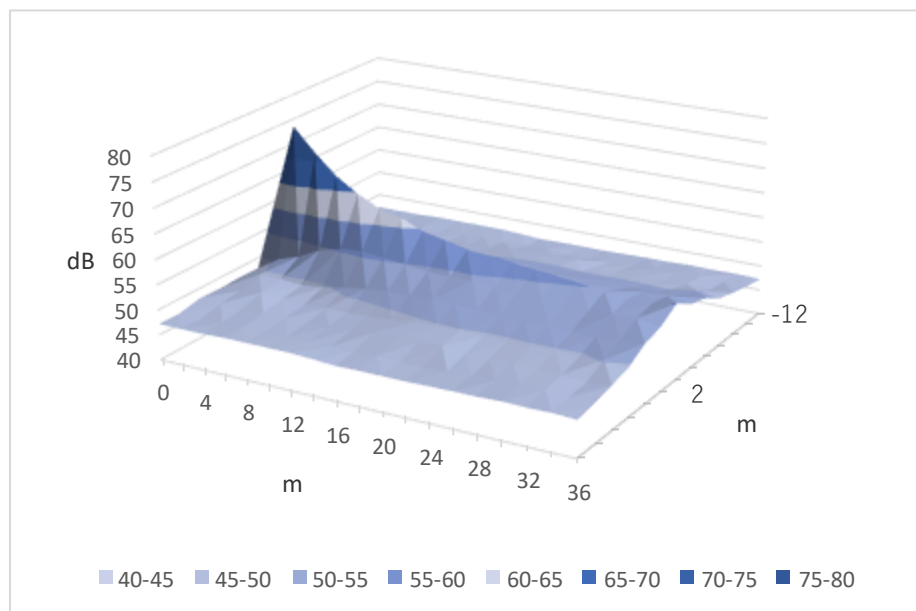


図5 音の指向性のイメージ図

#### 参考文献

[1] 指向性音響システム 納入事例 国立科学博物館様

[http://www.mee.co.jp/sales/acoustics/kokodake/case/case\\_detail02.html](http://www.mee.co.jp/sales/acoustics/kokodake/case/case_detail02.html)

[2] TSP 信号の最適振幅レベルの研究

[http://www.asp.c.dendai.ac.jp/thesis/H13\\_nakamura.pdf](http://www.asp.c.dendai.ac.jp/thesis/H13_nakamura.pdf)